

İklim Değişikliğinin Trakya Bölgesi'nde Buğday Yetiştirilen Toprağın Nem Profiline Etkisinin Belirlenmesi

Effect of Climate Change on Wheat Grown Soil Moisture Profile in Thrace District

Huzur DEVECİ¹, Fatih KONUKCU², Bahadır ALTÜRK¹

Öz


Toprak nemi bitki gelişimini ve verimini doğrudan etkilemesi nedeniyle bitkisel üretimde önemli bir parametredir. İklim değişikliğinin toprak nem rejimini de değiştirerek tarım sektörü üzerindeki olumsuz etkisini artırması beklenmektedir. Bu nedenle iklim değişiminin toprak nemine ve dolayısıyla tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. İklim değişikliğinin toprak nem profiline etkisini belirlemek amacıyla, önce Trakya Bölgesi'nde buğday ekili arazide 2016-2017 gelişme dönemi iklim koşulları için SWAP modeli ile tahmin edilen toprak profili nem değerleri, ölçülmüş değerler ile karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu ve testi yapılmıştır. Daha sonra, kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ile A2 senaryosu kullanılarak tahmin edilmiş iklim verilerinin nem rejimine etkisi modellenmiştir. Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nde yürütülen arazi çalışmalarında sıcaklık, yağış, nem, rüzgâr hızı, global güneş radyasyonu gibi iklim verileri, iklim istasyonu (Davis Vantage Pro2); iki farklı nokta ve üç farklı derinlikteki (30, 60, 90 cm) toprak nem değerleri ise toprak nem sensörü (Meter Group ECH2O EC-5, Irrrometer Model 200SS WATERMARK) ile ölçülmüştür. Modellenen toprak nem değerleri ile 2016-2017 gelişme döneminde ölçülmüş nem değerleri arasında iyi bir uyum bulunmuştur (günlük ortalama ME=0,82, r²=0,93, NRMSE=0,06). Geleceğe yönelik yapılan iklim değişikliği tahminlerinde toprak neminin, araştırma alanında buğday bitkisinin gelişimini etkileyecek düzeyde değişmeyeceği belirlenmiştir.


Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Toprak Nemi Tahmini, SWAP Model, Trakya Bölgesi, Buğday

Abstract

Soil water status is an important parameter in plant production as it affects directly plant growth and yield. Climate change is expected to change the soil water (SW) regime and increase its negative impact on the agricultural sector. Therefore, the effects of climate change on SW and thus on agricultural production should be studied. To determine the effect of climate change on SW profile, first, in the wheat cultivation area, the estimated soil water content by SWAP model for the climatic conditions of 2016- 2017 development period were compared with the measured values and the model was calibrated and tested. Then, the effect of the predicted climate change data by RegCM3 Regional Climate Model with A2 scenario for short (2020-2030), medium (2046-2055) and long-term (2076-2085) periods on SW regime was simulated. In the field studies conducted at Tekirdag Viticulture Research Institute, meteorological data were recorded by the meteorological station (Davis Vantage Pro2) whereas SW content at two points and three different depths (30, 60 and 90 cm) were monitored by soil moisture sensor (Meter Group ECH2O EC-5, Irrrometer Model 200SS WATERMARK). The predicted SW contents data fitted well with the measured SW content data (daily average ME=0,82, r²=0,93, NRMSE=0,06). It is concluded that climate change will not cause significant soil moisture change to affect wheat yield in the research area.

Keywords: Climate Change, Soil Moisture Prediction, SWAP Model, Thrace Region, Wheat

¹*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Huzur Deveci, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Yapı Denetimi Programı, Tekirdağ. E-mail: huzurdeveci@nku.edu.tr  OrcID: 0000-0002-0143-2185

²Fatih Konukcu, E-mail: fkonukcu@nku.edu.tr  OrcID: 0000-0003-2873-990X

¹Bahadır Altürk, E-mail: balturk@nku.edu.tr  OrcID: 0000-0003-1282-6558

Atıf/Citation: Deveci, H., Konukcu, F., Altürk, B. İklim değişikliğinin Trakya Bölgesi'nde buğday yetiştirilen toprağın nem profiline etkisinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 202-218.

Extendend Summary

Soil water status is an important parameter in plant production as it affects directly plant growth and yield. Climate change is expected to change the SW regime and increase its negative impact on the agricultural sector. For this reason, the effects of climate change on SW and thus on agricultural production should be evaluated and necessary measures should be taken accordingly. The objective of this study was to investigate the impact of climate change on wheat grown soil moisture profile under Thrace Conditions.

The field trials were carried out at Tekirdag Viticulture Research Institute during 2016-2017 wheat growing season. To determine the effect of climate change on soil moisture profile, first, in the wheat cultivation area of Thrace, the SW content values estimated by SWAP model for the climatic conditions of 2016- 2017 development period were compared with the measured values and the model was calibrated and tested. Then, the effect of the predicted climate change data by RegCM3 Regional Climate Model with A2 scenario for short (2020-2030), medium (2046-2055) and long-term (2076-2085) periods on SW regime was simulated. Meteorological data such as temperature, precipitation, humidity, wind velocity, global solar radiation were recorded by the meteorological station (Davis Vantage Pro2) whereas SW content at two points and three different depths, namely, 30, 60 and 90 cm, were monitored by soil moisture sensor (Meter Group ECH2O EC-5, Irrrometer Model 200SS WATERMARK).

In the calibration of SWAP model, soil parameters including soil residual (θ_{res}) and saturated (θ_{sat}) water contents and saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) besides α , λ and n parameters in van Genuchten (1980) and Mualem (1976) pedo-transfer functions Equations were adjusted. The measured and modelled values were evaluated daily considering regression analysis (r^2) results, normalized standard errors (NRMSE) and model efficiency coefficients (ME).

To model the effect of climate change on SW in the short (2020-2030), medium (2046-2055) and long (2076-2085) terms, the outputs of RegCM3 Regional Climate Model with A2 scenario were used as inputs in SWAP model and forecasted water content values of wheat grown soil profile for future were compared with the ones measured in 2016-2017. Both, SW content as a function of depth at different times during the growing season and trends in the soil moisture content of specified depths as a function of time were taken into account in the assessment of climate change on SW content.

In the previous case, a more dynamic and variable water content values were observed in 30 cm soil depth compared to 60 and 90 cm soil depths. The reason for this is that 30 cm soil depth directly exposes to precipitation, radiation and other air conditions effective on evaporation. Minimal changes in the water content of 90 cm depth were observed. When the statistical results during the calibration and testing process of the model were evaluated, ME, r^2 and NRMSE values were found to 0,59, 0,60 and 0,08 at 30 cm; 0,16, 0,19 and 0,08 at 60 cm, 0,73, 0,80 and 0,02 at 90 cm depths and daily average 0,82, 0,93 and 0,06, respectively. The best fit between the measured and simulated water contents values was observed for 90 cm depth.

When the trends in the soil moisture content of a specified depth as a function of time were taken into account, a wide variation was seen. However, the variation remained between the field capacity and wilting point during the growing season of wheat. It is concluded that climate change will not cause significant soil moisture change which will affect the yield.

Bitkisel üretimde en önemli parametrelerden biri olan ve doğrudan bitki gelişimi ve verimini etkileyen toprak neminin tahmin edilmesi çok önemlidir. Toprak nemini en çok etkileyen faktörlerin başında iklim gelmektedir. İklim parametrelerinden özellikle sıcaklık ve yağıştaki değişimlerin toprak nemi üzerindeki etkilerini belirleyebilmek, gelecekte bitki verimlerini tahmin edebilmek açısından çok önemlidir. İklim değişikliğinin tarım sektöründeki olumsuz etkilerini azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin tahmin edilmesi, daha sonra olası değişikliklerin toprak nemine ve dolayısıyla tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Yıllardan beri bilinen ve tartışılan iklim değişikliği günümüzde en büyük tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel iklim değişikliği önemli oranda insan kaynaklı sera gazları tarafından gerçekleştiği, Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin son toplantısında (Pachauri ve ark. 2014) tartışmalara yer bırakmayacak şekilde vurgulanmıştır. İklim değişikliği senaryolarının küresel ölçekte iklim modelleri yoluyla bölgesel ölçeğe indirgenmesi ve sonuçlarının incelenmesi, ülkemizin, enerji, tarım ve su kaynakları yönetimi gibi alanlardaki gelecekle ilgili planlamalarını yakından ilgilendirmektedir (Önol ve ark. 2009; Şen ve ark. 2013; İklimSu 2016).

İklim değişikliği ile birlikte yağış dağılımı, miktarı ve sıcaklık değerlerinin büyük ölçüde değişeceği öngörülmektedir. Bu değişiklikten de birçok sektörün etkileneceği tahmin edilmektedir. Dolayısı ile iklim değişikliğinin sektörler üzerine etkilerini azaltmak ve önlemek için yerel, bölgesel, ulusal veya uluslararası düzeyde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Her bölgede sektörler, kendi çalışma alanı kapsamındaki olması gereken önlemleri bilmek ve gerekenleri yapmak zorundadır. İklim değişikliğinin ülkemizde de su kaynaklarını ve tarımsal üretimi kısıtlayıcı bir rol oynayacağı beklenmektedir. Bu nedenle ülkemiz su kaynaklarının planlaması ve yönetimi yanında tarımsal üretimde iklim değişikliğinin potansiyel etkileri dikkate alınmalı, olası değişimlere karşı hassasiyetleri irdelenmelidir (Özkul ve ark. 2008; İklimSu, 2016). Diğer taraftan bu etkileri azaltmak için öncelikle iklim değişikliğinin karbon emisyon senaryoları ışığında bölgesel anlamda yüksek çözünürlükle tahmin edilmesi daha sonra olası değişikliklerin su kaynakları ve tarımsal üretime etkilerinin iyi değerlendirilmesi ve uyum kapasitesinin geliştirilmesi gerekmektedir. İklim değişikliğinin etkileri alansal ve zamansal ölçekte farklılık göstermektedir. Hangi bölgelerde, hangi sektörlerin, hangi düzeyde etkileneceğinin belirlenmesi, ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve iklim değişikliğine uyum bakımından çok önemlidir (Demir ve ark. 2008).

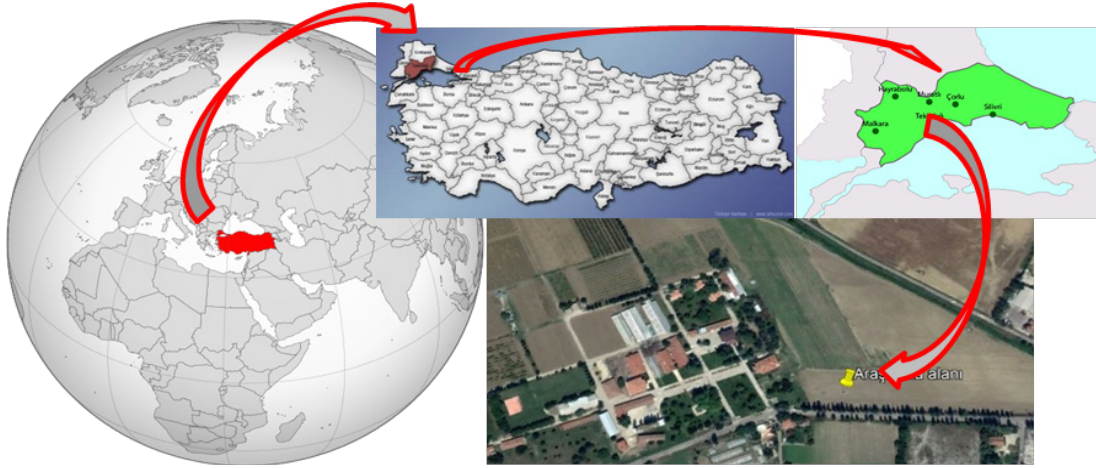
İklim değişikliğinin tarımsal üretimde stratejik bir öneme sahip olan buğday verimine etkisi dünyada farklı ülkelerde birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Andarzian ve ark. 2011; Mkhabela ve ark. 2012; Singh ve ark. 2013; Tripathy ve ark. 2013; Mishra ve ark. 2013; Bregaglio ve ark. 2015). Ülkemizde ise konu bölgesel anlamda zamansal ve mekansal olarak farklı araştırmacılar tarafından, geniş bir şekilde incelenmiştir (Kapur ve ark. 2007; Şimşek ve ark. 2007; Kapur 2010; Koç 2011; Kale ve Tari 2012). Gerek dünyada ve gerekse Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan bu çalışmalarda iklim ve diğer yerel koşullara bağlı olarak, iklim değişikliğinin, buğdayda farklı düzeylerde verim artması ve azalmasına sebep olacağı rapor edilmiştir. Trakya Bölgesi'nde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde ise, buğday bitkisinde yer yer %50'ye varan verim artışları ve hatta bölgenin bazı kesimlerinde %50'nin üzerinde verim artışları olacağı tahmin edilmiştir (Çaldağ 2000; Çaldağ 2009; Deveci 2015; Konukcu ve ark. 2017). Trakya Bölgesi'nde iklim değişiminin buğday yetiştirme döneminde toprak nem rejimini nasıl etkileyeceğinin ileriye dönük tahmini, bölgede iklim değişikliğinin buğday verimine olumlu etkisinin tam olarak anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. İklim değişiminin buğday yetiştirilen alanlarda toprak nem profiline etkisi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Deveci (2015), buğday ve ayçiçeği bitkilerinde iklim değişikliğinin toprak nemine etkilerini SWAP Modeli ile tahmin etmiştir. Ancak, karar vericilere daha sağlıklı bilgi üretebilmek için, bölgede bu konu ile ilgili araştırmaların çeşitlendirilmesi ve detaylandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; Trakya Bölgesi'nde, 2016-2017 yılı için ölçülmüş gerçek iklim ve toprak nem değerleri ile test edilen SWAP Modelde kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) vadede iklim değişikliğinin, buğday yetiştirilen alanda, toprak nemine etkisini modellemek, bölgede iklim değişikliği ile buğday verimindeki önemli artışı açıklığa kavuşturmak, muhtemel iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerine olabilecek olumsuz etkilerinin azaltılması için öneriler sunmaktır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Alanı

Araştırma, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü arazisinde yürütülmüştür (Şekil 1). Alanının denizden yüksekliği 4,0 m olup, 40° 59' kuzey enlemi ve 27° 29' doğu boylamındadır.



Şekil 1. Araştırma alanı

Figure 1. Research area

Araştırma Alanının İklimi

Araştırma alanına ilişkin iklim verileri, Tekirdağ Meteoroloji Müdürlüğü'nden elde edilmiştir (Çizelge 1). Uzun yıllar (1970-2011) meteorolojik verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14,0 °C'dir. Aylık sıcaklık ortalamaları açısından en soğuk ay 4,9 °C ile Ocak, en sıcak ay ise 23,8 °C ile Temmuz'dur. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı 576,8 mm'dir. Yağışın büyük bir kısmı Ekim ile Nisan ayları arasındaki dönemde gerçekleşmektedir. Yıllık ortalama bağıl nem %77,9, yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 2,8 m s⁻¹'dir (Anonim 2012).

Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Araştırma alanı toprak özelliklerini belirlemek için 14.10.2016 tarihinde bir adet profil çukuru açılmıştır. 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm'lik katmanlardan alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri üzerinde tarla kapasitesi, solma noktası, bünyesi, hacim ağırlığı, toplam tuz ve pH değerleri belirlenmiş, analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1970–2011) (Anonim 2012)

Table 1. Long-term average climate values of the research area (1970–2011) (Anonymous 2012)

Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	Ortalama bağıl nem (%)	Ortalama rüzgâr hızı (m s ⁻¹)	Ortalama toplam yağış (mm)
Ocak	4,9	8,3	2,2	83,1	3,0	60,3
Şubat	5,1	8,8	2,2	80,8	3,1	54,5
Mart	7,4	11,1	4,2	80,5	2,9	55,2
Nisan	11,9	15,7	8,1	78,5	2,4	41,9
Mayıs	16,7	20,5	12,4	76,8	2,3	38,4
Haziran	21,4	25,3	16,5	73,5	2,3	37,1
Temmuz	23,8	27,9	18,9	70,6	2,7	24,3
Ağustos	23,6	28,0	19,2	71,7	2,9	14,6
Eylül	19,9	24,3	15,8	75,0	2,8	37,8
Ekim	15,3	19,5	11,9	79,3	2,9	65,2
Kasım	10,5	14,4	7,4	82,3	2,8	73,7
Aralık	7,0	10,3	4,1	82,7	3,2	73,8
Yıllık Ortalama	14,0	17,8	10,2	77,9	2,8	48,1

Çizelge 2. Araştırma alanındaki toprakların bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 2. Some important physical and chemical properties of soils in the research area

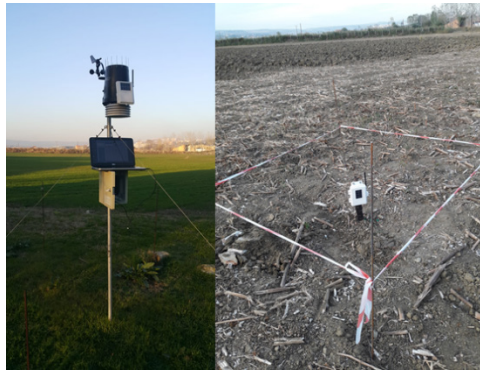
Derinlik (cm)	pH	Toplam tuz (%)	Bünye			Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi (% Ağırlık)	Solma noktası (% Ağırlık)	Hacim ağırlığı (gr cm ⁻³)
			Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)				
0-30	7,93	0,05	37,15	30,72	32,13	Killi Tın	27,20	16,243	1,31
30-60	7,96	0,05	37,15	30,72	32,13	Killi Tın	25,92	16,292	1,36
60-90	7,88	0,05	24,65	45,30	30,05	Tın	27,85	15,827	1,42

Buğday Bitkisi

Araştırma alanına buğday tohumları 24.10.2016 tarihinde mibzerle ekilmiş, ilk kardeşlenme 20.03.2017 tarihinde görülmüş, 03.07.2017 tarihinde ise hasat edilmiştir. Ekiminden 5 gün sonra ilk çıkış görülmüştür. Ekilen buğday çeşidi rumeli olup, ekmeclik buğdaydır. Tohum ekimi ile birlikte taban gübresi olarak dekara 30 kg 20-20-0, ekimin dördüncü ayında 20 kg üre, altıncı ayında ise 15 kg amonyum sülfat gübresi tatbik edilmiştir. Yetiştirme dönemi içerisinde külleme, kök boğazı ve septoryya karşı yabancı ot ilacı, hububat hortumlu böceği için insektisit atılmıştır.

Meteoroloji Ölçüm İstasyonu ve Toprak Nem Sensörleri ile Bunlardan Elde Edilen Veriler

Araştırma alanına 08.11.2016 tarihinden başlamak üzere araştırma süresince kesintisiz ölçüm yapmış olan meteoroloji ölçüm istasyonu ve toprak nemi sensörleri kurulmuş, bu istasyon ve sensörler vasıtasıyla iklim ve toprak nemi verileri ölçülmüştür (Şekil 2). Meteoroloji ölçüm istasyonu (Davis Vantage Pro2) ve toprak nemi ölçüm sensörleri (Meter Group ECH₂O EC-5, Irrometer Model 200SS WATERMARK); biri dış ortam ölçümlerinin yapıldığı “sensör birimi”, diğeri iç ortam ölçümlerinin yapıldığı ve tüm verilerin gösterildiği, kayıt altına alındığı ve bilgisayar ortamına aktarıldığı “konsol birimi” olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Verilerin bilgisayara aktarımı datalogger cihazı ile sağlanmıştır. Kurulmuş olan bu sistem ile 10’ar dakika ara ile rüzgâr hızı (m s⁻¹), yağış miktarı (mm), sıcaklık (°C), bağıl nem (%), atmosferik basınç (hPa), solar radyasyon (W m⁻²) ve toprak su potansiyeli (m³ m⁻³ ve cbar) ölçümleri yapılmıştır. Sistemde toplam 6 adet toprak su potansiyeli sensörü vardır. Bu sensörler her birine 3 adet olmak üzere iki farklı kablosuz aktarıcıya bağlanmıştır (Irrometer Model 200SS WATERMARK). Sensörler yardımıyla 2 ayrı noktada 30 cm, 60 cm ve 90 cm olmak üzere 3 farklı derinlikte ölçüm yapılmıştır. Ayrıca bu sensörlere ilave olarak 10.04.2017 tarihinde yine aynı noktalara 6 sensör daha takılarak (Meter Group ECH₂O EC-5) 30 cm, 60 cm ve 90 cm derinliklerde hacimsel (cm³ cm⁻³) ölçüm de yapılmıştır.



Şekil 2. Araştırma alanındaki meteoroloji ölçüm istasyonu ve toprak nemi sensörleri

Figure 2. Meteorological station and soil moisture sensors in the research area

Bölgesel İklim Değişikliği Tahmin Modeli: RegCM3

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü’nün yürütücüsü olduğu “Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları” projesi kapsamında RegCM3 Bölgesel İklim Modeli ve A2 SRES (Emisyon Senaryoları Özel Raporu) senaryosu ile üretilmiş 27x27 km çözünürlüklü iklim verileri kullanılmıştır (Dalfes ve ark. 2008). RegCM3 Modeli Amerikan Atmosferik Araştırmalar Ulusal Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilen dinamik ölçek küçültme yöntemi ile çalıştırılan bir bölgesel iklim modelidir. RegCM3 Bölgesel İklim Modeli’nin çalıştırılması başlangıçta iki temel adıma dayanmaktadır. Birincisi model alanının topografyasının ve arazi

kullanımının RegCM3 gridlerinde oluşturulmasıdır. Diğer adım ise başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesidir. RegCM3 Modeli'nin çıktıları temel olarak dört ana grupta toplanmıştır. Bunlar sırasıyla atmosfer, radyasyon, yüzey ve kimya değişkenleridir. ECHAM5 Genel Dolaşım Modeline ait düşük çözünürlüklü veriler dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RegCM3 Modeli kullanılarak bölge ölçeğine indirgenmiştir. Çalışmada, 1961-1990 yılları arasındaki 30 yıl referans dönemi 2000-2099 yılları ise gelecek dönemi kapsamaktadır. Araştırmada kullanılan model çıktıları günlük olarak, minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$), rüzgâr hızı (m s^{-1}), yağış (mm) ortalama nem (%) ve global güneş radyasyonu (W cm^{-2}) değerlerini kapsamaktadır.

Toprak Nemi Tahmin Modeli: SWAP

Bu araştırmada, toprak neminin tahmin edilmesinde SWAP (Soil Water Atmosphere Plant) Model (Version 3.2) kullanılmıştır. SWAP Modeli, sulama ve drenajı da içeren farklı tiplerdeki sınır koşulları altında, üzerinde bitki bulunan bir topraktaki su ve eriyik dengesini ele alan bir simülasyon modelidir. Bu model SWATR(E), SWACROP, SWAP 93 ve SWAP 3.0.3 gibi agrohidrolojik modellere dayanılarak Wageningen Agricultural University'den Feddes ve ark. (1978) tarafından geliştirilmiştir. SWAP, toprak, su, atmosfer ve bitki etkileşimini modellemektedir.

Modelin çalışması için gerekli olan iklim verileri günlük minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), ortalama buhar basıncı (kPa), rüzgâr hızı (m s^{-1}), yağış (mm) ve global güneş radyasyonu (kJ m^{-2}) değerleridir. Toprak verileri olarak toprak profilinin geometrisi ve pedotransfer fonksiyonlar yani doymuş hidrolik iletkenlik (cm gün^{-1}), kalıcı nem içeriği ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), doymuş nem içeriği ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), toprak bünyesi ile ilgili katsayılar (α , n ve m) modele girilmektedir. Ayrıca başlangıç nem durumu belirlenerek, sulama ve drenajın, göllenme ve akış durumunun, ıslanma ve kurumanın, makrapor akışının, kar ve don durumunun, ısı ve eriyik iletiminin olup olmayacağını modelleme aşamasında belirtilmesi gerekmektedir. Bitki ile ilgili olarak da hangi bitkinin ekildiği, ekim ve hasat tarihleri, bitki gelişimi, maksimum köklenme derinliği, kök gelişim fonksiyonu, bitki yüksekliği, bitkinin toprağı kaplama oranı, su alım fonksiyonu ve verim etmeni gibi değişkenler girdi olarak kullanılmaktadır.

Model çıktı olarak su ve eriyik dengesi bileşenleri, derinliğin fonksiyonu olarak toprak sıcaklıkları ve nem içeriği, basınç yükü, evapotranspirasyon, eriyik konsantrasyonu, toprak profili üzerindeki sıcaklık dağılımı, drenaj akımları, yüzey su sisteminin nem dengesi ve yüzey suyu yönetimi bilgisi değerlerini vermektedir.

SWAP, toprak profilindeki su hareketini tanımlamak için Richard's denklemini kullanmaktadır. Modelin toprak su içeriğini kestirmede kullandığı eşitlik Richard's eşitliği olarak bilinmektedir. Bu eşitlik Darcy eşitliğinin süreklilik denklemi ile kombine edilmesiyle elde edilmiştir. Bu eşitlik toprağın hidrolik fonksiyonlarına ilişkin veri tabanının kullanılmasına ve her çeşit senaryo analizinin simülasyonuna olanak sağlamaktadır (Van Dam ve ark. 1997).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(h) - S_d(h) - S_m(h) \quad (1)$$

θ : Hacimsel su içeriği ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

t : Zaman (gün)

K : Hidrolik iletkenlik (cm gün^{-1})

h : Toprak suyu basınç yüksekliği (cm)

z : Toprak profilindeki herhangi bir derinlik (cm)

S_a : Bitki kökleri tarafından toprak su çekme oranı ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3} \text{gün}^{-1}$)

S_d : Doymuş bölgede drenaj deşarjından alınan su (gün^{-1})

S_m : Makrapor değişim oranı (gün^{-1})

Meteoroloji Ölçüm İstasyonu ve Toprak Nem Sensörlerinden Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Meteoroloji ölçüm istasyonu ve toprak nemi sensörleri her türlü hava ve arazi koşulunda 24 saat süresince 10'ar dakika ara ile kesintisiz olarak ölçüm yapabilecek özelliktedir. Buradan elde edilen iklim verileri günde bir veri olacak şekilde düzenlenmiştir. Daha sonra ise meteoroloji verileri modele girilebilecek ve toprak nemi verileri ise SWAP Model ile karşılaştırılabilir hale dönüştürülmüştür.

İklim Değişikliğinin Modellenmesi Sonucu Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kullanılarak yapılan "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" adlı projenin çıktıları olan A2 SRES senaryosuna ait gelecek yılları kapsayan kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve

uzun (2076-2085) dönem iklim verilerinin düzenlenmiş hali Konukcu ve ark. (2017) tarafından yapılan “Trakya Bölgesi’nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Matematiksel Modellerle Tahmin Edilmesi” adlı çalışmadan alınmıştır. Kısa, orta ve uzun dönemler için elde edilen bu veriler SWAP Model’in girdi formatına uygun olarak düzenlenmiştir.

Toprak Neminin Modellenmesi

İklim değişikliğinin toprak nemine etkisinin modellenmesi aşamasında, 2016-2017 yıllarında yürütülen buğday deneme alanından elde edilen nem değerleri kullanılmıştır. 08.10.2016 tarihinden itibaren, 30 cm, 60 cm ve 90 cm derinliklerden ölçülen toprak nemi değerleri ile SWAP Model’in hesapladığı toprak nemi değerleri karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu yapılmıştır. RegCM3 Bölgesel İklim Modeli’nden elde edilen iklim verileri kalibre edilen SWAP Model’de kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için tekrar çalıştırılarak geleceğe yönelik toprak nemi tahminleri yapılmıştır.

Modelin çalıştırılması

Toprak nem içeriklerinin 2016-2017 yıllarında modellenip, kalibre edilebilmesi için öncelikle SWAP Modelde meteoroloji veri dosyasının oluşturulması gerekmektedir. Toprak nemi tahmin modelinde kullanılan iklim verileri kurulan meteoroloji ölçüm istasyonundan elde edilerek SWAP Model için oluşturulan meteoroloji veri dosyasına günlük olarak girilmiştir. Daha sonra SWAP Modelde buğday bitkisi için bitki veri dosyası SWAP Model’in ilave verilerinin olduğu bölümden alınarak kullanılmıştır. Son olarak da SWAP Modelde ana veri dosyası oluşturulmuştur. SWAP Model’in içinde yer alan ana veri girdi dosyasına ait genel bilgiler bölümü, meteoroloji bölümü, bitki bölümü, toprak su bölümü, drenaj bölümü, alt sınır koşulları bölümü, ısı iletimi bölümü ve eriyik iletimi bölümlerine ilgili veriler girilerek SWAP Model çalıştırılmıştır.

Ölçülen ve Tahmin Edilen Toprak Nemi Değerlerinin Kalibrasyonu

SWAP Model’in kalibrasyonu 2016-2017 yılları için yapılmıştır. Toprağın hidrolik fonksiyonlarına (Van Genuchten (1980)-Mualem (1976)) ilişkin tanımlayıcı parametrelerinin hesaplanmasında RETC (Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils) ve PTF (Pedo-Transfer Functions) yazılımları kullanılmıştır. Bu yıllarda ölçülen toprak nemi değerleri ile SWAP Model ile simüle edilen toprak nemi değerleri birbirine yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Bu yaklaştırma işlemi yapılırken toprak ile ilgili olan θ_{res} (kalıcı nem içeriği), θ_{sat} (doymun nem içeriği), K_{sat} (doymun hidrolik iletkenlik), α (ana kuruma eğrisi alfa katsayısı), λ (hidrolik iletkenlik fonksiyonundaki sabite) ve n (n parametresi) parametreleri değiştirilmiştir. Kalibrasyon sırasında değiştirilerek elde edilen Van Genuchten (1980)-Mualem (1976) parametrelerinin son hali 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinlikleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı katmanlar için kalibre edilmiş Van Genuchten (1980)-Mualem (1976) hidrolik parametreleri

Table 3. The fitted Van Genuchten (1980)-Mualem (1976) hydraulic parameters for different soil layers

Derinlik (cm)	θ_{res} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{sat} (cm ³ cm ⁻³)	α (cm ⁻¹)	n (-)	λ (-)	K_{sat} (cm gün ⁻¹)
0-30	0,00	0,450	0,0335	1,400	-3,239	99,132
30-60	0,00	0,480	0,0360	1,115	-3,087	98,410
60-90	0,00	0,450	0,0370	1,150	-3,250	15,080

Ölçülen ve Tahmin Edilen Toprak Nemi Değerlerinin İstatistiksel Analizi

Modelin geçerliliğinin istatistiksel değerlendirilmesi için SWAP Model’in kalibrasyonunda ilk olarak regresyon analizi (r^2) yapılmıştır. Gözlenen ve modellenen değerler arasında 0 ile 1 arasında değişen r^2 değeri doğrusal regresyon kurmakta ve modelin regresyon eğrisine uygunluğunu ifade etmektedir. Sonrasında ise normalize edilmiş standart hata (NRMSE) ve model etkinlik katsayısı (ME) hesaplanarak değerlendirme yapılmıştır (Júnior ve ark. 2010).

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

Bu eşitliklerde n , toplam gözlem sayısını, O_i ölçülen ve S_i de modellenen toprak nemi değerlerini, ise ölçülen değerlerin ortalamasını ($i=1$ 'den n 'ye kadar) ifade etmektedir. ME ve NRMSE değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Ölçülen ve modellenen sonuçların istatistiksel olarak uyumlu olabilmesi için ME değerinin 0,5 ile 1,0 arasında olması gerekmektedir. Burada ME=1 ifadesi, model ile ölçülen değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu, ME=0 ifadesi ise model ile ölçülen değerlerin birbirinden oldukça uzak değerler olduğunu göstermektedir (Junior ve ark. 2010).

İklim Değişikliğinin Toprak Nemine Etkisinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin toprak nemine etkisinin modellenmesi aşamasında, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli A2 senaryo sonuçlarından elde edilen ve Konukcu ve ark. (2017) tarafından yapılan "Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Buğday Verimine Etkisinin Matematiksel Modellerle Tahmin Edilmesi" adlı çalışmadan alınan günlük en düşük sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), en yüksek sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), ortalama buhar basıncı (kPa), rüzgâr hızı (m s^{-1}), günlük toplam yağış (mm) ve toplam global güneş radyasyonu (kJ m^{-2}) değerleri SWAP Modele girilerek buğday bitkisi için kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için toprak nemi değerleri tahmin edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Toprak Nemi Modelleme Sonuçları

İklim değişikliğinin toprak nemine etkisinin modellenmesi aşamasında Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde 2016-2017 yılları arasında buğday tarlasından 30 cm, 60 cm ve 90 cm derinliklerinden ölçülen toprak nemi değerleri ile 2016-2017 dönemi için SWAP Model'in hesapladığı toprak nemi değerleri karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu yapılmış daha sonra ise RegCM3 Bölgesel İklim Modeli'nden elde edilen iklim verileri ile kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için toprak nemi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Ölçülen ve Tahmin Edilen Toprak Nemi Değerleri

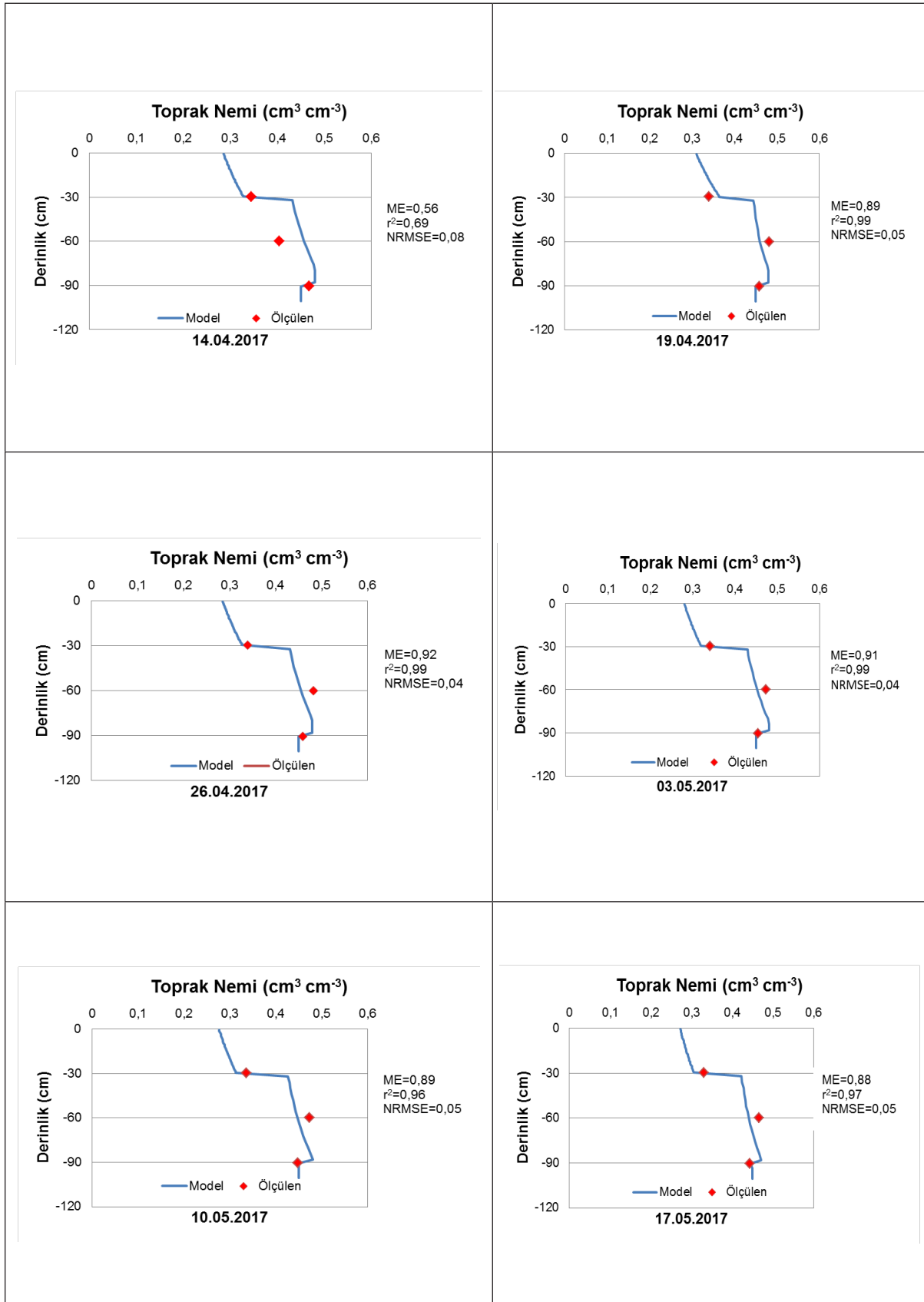
Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ndeki arazide buğday bitkisinin ekili olduğu alanda toprak nemi değerleri 2016-2017 döneminde 10.04.2016 tarihinden 03.07.2017 tarihine kadar buğday gelişme dönemi boyunca 85 gün kesintisiz ölçülmüş ve modellenen toprak nemi değerleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (Çizelge 4). Buna göre ölçülen ve tahmin edilen toprak nemi değerleri istatistiksel olarak oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te 10.04.2016 tarihinden 03.07.2017 tarihine kadar olan süre boyunca haftada 1 gün olmak üzere derinlik ile toprak nemi arasındaki değişim gösterilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'e bakıldığında 30 cm ve 90 cm derinliklerde ölçülen ve tahmin edilen toprak nemi değerlerinin 60 cm'deki değerlere göre daha uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı her katman için kendi içinde istatistiksel analizler yapıldığında elde edilen ME, r^2 , NRMSE değerleri sırası ile 30 cm'de 0,59-0,60-0,08, 60 cm derinlikte 0,16-0,19-0,08 ve 90 cm'de 0,73-0,80-0,02 olarak hesaplanmıştır. Tsiros ve ark. (1998) toprak su rejimini Richard's denkleminin numerik çözümüne dayandırmışlar ve buna göre Richard's denkleminin numerik çözümüne dayanan yöntemin üst ve alt toprak bölgelerinin her ikisi için de daha doğru sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Dolayısı ile bu çalışmada kullanılan SWAP Model de Richard's denklemini esas aldığından dolayı elde edilen istatistiksel sonuçlar Tsiros ve ark. (1998)'nin yaptıkları çalışma ile benzer bir şekilde uyum göstermektedir. Sonuç olarak 30 cm ve 90 cm toprak derinliklerinde istatistiksel olarak daha anlamlı bir doğrulama söz konusudur. Ayrıca her bir katman için ölçülen ve kalibre edilen toprak nemi değerleri Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'ye bakıldığında elde edilen sonuçlar bu durumu doğrular niteliktedir.

Ancak her ne kadar 60 cm'deki toprak derinliğinde daha az tutarlılık görünse de 30 ve 90 cm toprak derinliklerindeki anlamlı tutarlılık, günlük olarak ve 30, 60 ve 90 cm derinliklerindeki toprak profili esas alındığında 10.04.2016 tarihinden 03.07.2017 tarihine kadar olan süre boyunca bu durumun tölere edildiğini ve istatistiksel olarak anlamlı düzeyde uyum sağlandığını göstermektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. 2016-2017 Yılında ölçülen ve tahmin edilen değerlerin istatistiksel test sonuçları

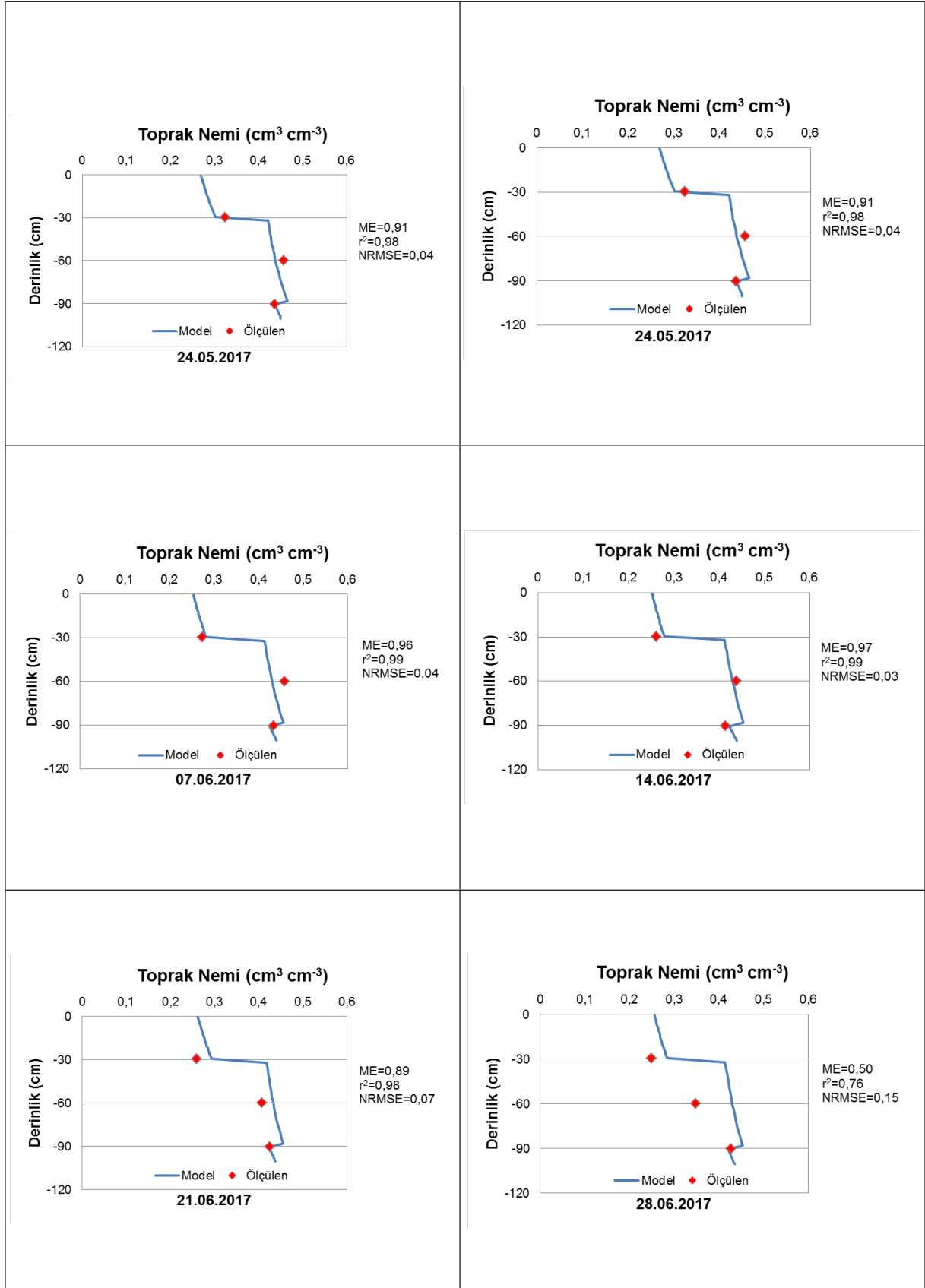
Table 4. Statistical test results of measured and estimated values for 2016-2017

Gün	Tarih	ME	r ²	NRMSE	Gün	Tarih	ME	r ²	NRMSE
1	10.04.2017	0,52	0,64	0,09	44	23.05.2017	0,93	0,98	0,04
2	11.04.2017	0,53	0,65	0,09	45	24.05.2017	0,91	0,98	0,04
3	12.04.2017	0,54	0,67	0,09	46	25.05.2017	0,85	0,98	0,05
4	13.04.2017	0,55	0,68	0,08	47	26.05.2017	0,83	0,98	0,06
5	14.04.2017	0,56	0,69	0,08	48	27.05.2017	0,81	0,98	0,06
6	15.04.2017	0,54	0,70	0,08	49	28.05.2017	0,82	0,98	0,06
7	16.04.2017	0,55	0,72	0,08	50	29.05.2017	0,83	0,98	0,06
8	17.04.2017	0,11	0,55	0,08	51	30.05.2017	0,86	0,98	0,06
9	18.04.2017	0,87	1,00	0,04	52	31.05.2017	0,87	0,98	0,05
10	19.04.2017	0,89	0,99	0,05	53	01.06.2017	0,88	0,99	0,05
11	20.04.2017	0,90	0,99	0,05	54	02.06.2017	0,91	0,99	0,05
12	21.04.2017	0,91	0,99	0,04	55	03.06.2017	0,93	0,99	0,05
13	22.04.2017	0,93	0,98	0,04	56	04.06.2017	0,94	0,99	0,04
14	23.04.2017	0,93	0,99	0,04	57	05.06.2017	0,95	0,99	0,04
15	24.04.2017	0,92	0,99	0,04	58	06.06.2017	0,96	0,99	0,04
16	25.04.2017	0,92	0,99	0,04	59	07.06.2017	0,96	0,99	0,04
17	26.04.2017	0,92	0,99	0,04	60	08.06.2017	0,95	0,99	0,05
18	27.04.2017	0,92	0,99	0,04	61	09.06.2017	0,92	0,93	0,06
19	28.04.2017	0,91	0,99	0,04	62	10.06.2017	0,96	0,98	0,04
20	29.04.2017	0,91	0,99	0,04	63	11.06.2017	0,97	0,99	0,04
21	30.04.2017	0,90	0,99	0,04	64	12.06.2017	0,97	0,99	0,03
22	01.05.2017	0,92	0,99	0,04	65	13.06.2017	0,97	0,99	0,03
23	02.05.2017	0,92	0,99	0,04	66	14.06.2017	0,97	0,99	0,03
24	03.05.2017	0,91	0,99	0,04	67	15.06.2017	0,97	0,99	0,04
25	04.05.2017	0,90	0,98	0,04	68	16.06.2017	0,97	1,00	0,04
26	05.05.2017	0,89	0,98	0,05	69	17.06.2017	0,97	1,00	0,04
27	06.05.2017	0,90	0,98	0,04	70	18.06.2017	0,92	1,00	0,06
28	07.05.2017	0,89	0,97	0,05	71	19.06.2017	0,95	0,99	0,04
29	08.05.2017	0,88	0,97	0,05	72	20.06.2017	0,93	0,99	0,06
30	09.05.2017	0,88	0,96	0,05	73	21.06.2017	0,89	0,98	0,07
31	10.05.2017	0,89	0,96	0,05	74	22.06.2017	0,86	0,96	0,08
32	11.05.2017	0,88	0,96	0,05	75	23.06.2017	0,84	0,94	0,08
33	12.05.2017	0,88	0,96	0,05	76	24.06.2017	0,77	0,90	0,10
34	13.05.2017	0,85	0,96	0,05	77	25.06.2017	0,68	0,85	0,12
35	14.05.2017	0,82	0,96	0,06	78	26.06.2017	0,59	0,81	0,13
36	15.05.2017	0,84	0,97	0,05	79	27.06.2017	0,54	0,78	0,14
37	16.05.2017	0,84	0,96	0,05	80	28.06.2017	0,50	0,76	0,15
38	17.05.2017	0,88	0,97	0,05	81	29.06.2017	0,49	0,77	0,15
39	18.05.2017	0,89	0,97	0,05	82	30.06.2017	0,44	0,76	0,16
40	19.05.2017	0,92	0,98	0,04	83	01.07.2017	0,40	0,75	0,16
41	20.05.2017	0,90	0,98	0,05	84	02.07.2017	0,41	0,76	0,16
42	21.05.2017	0,90	0,98	0,05	85	03.07.2017	0,44	0,77	0,16
43	22.05.2017	0,93	0,98	0,04	Ortalama		0,82	0,93	0,06



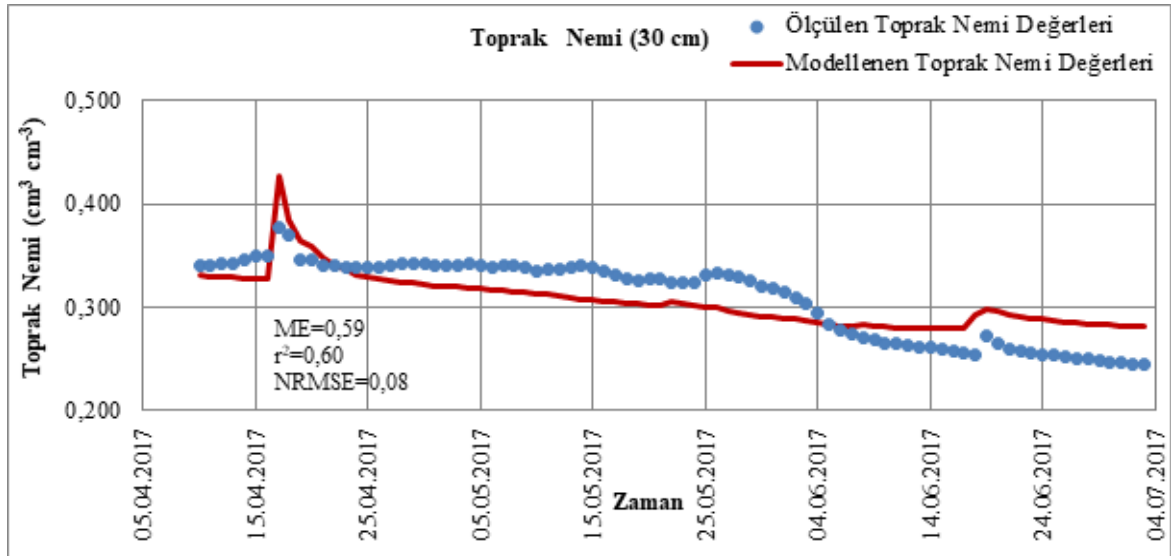
Şekil 3. Araştırma alanında ölçülen toprak nem içeriği ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 3. Comparison of simulated and measured water contents in the research area



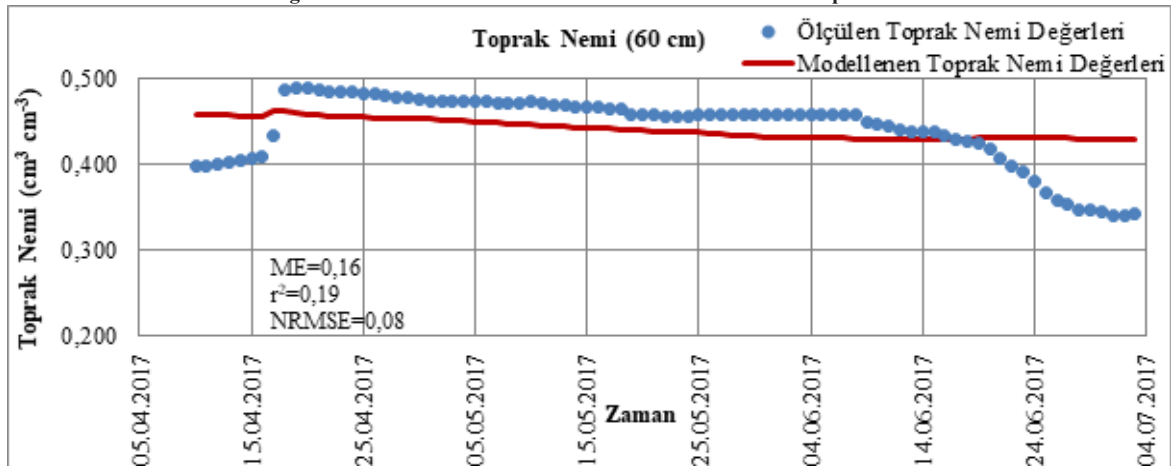
Şekil 4. Araştırma alanında ölçülen toprak nem içeriği ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 4. Comparison of simulated and measured water contents in the research area



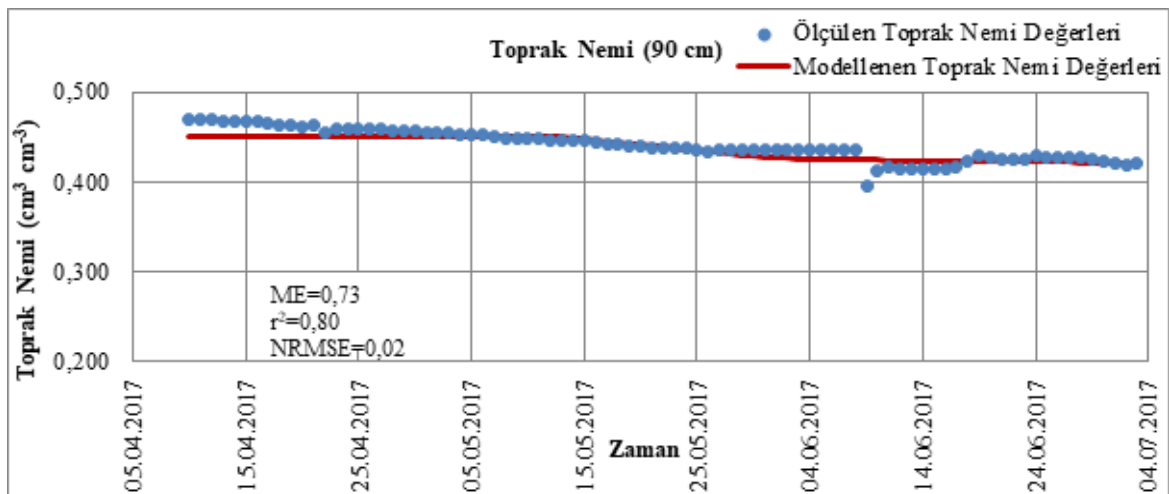
Şekil 5. 30 cm Derinlikteki ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği

Figure 5. Measured and simulated soil water content at the depth of 30 cm



Şekil 6. 60 cm Derinlikteki ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği

Figure 6. Measured and simulated soil water content at the depth of 60 cm

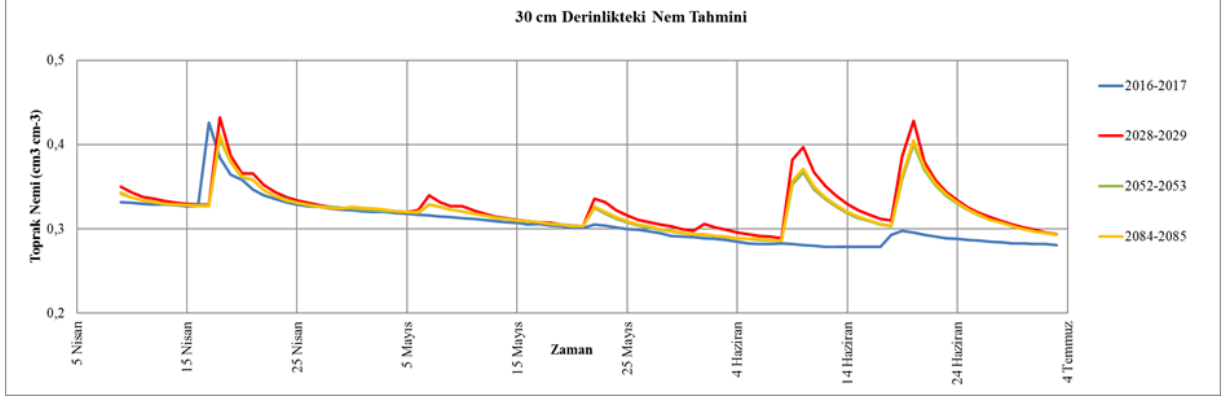


Şekil 7. 90 cm Derinlikteki ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği

Figure 7. Measured and simulated soil water content at the depth of 90 cm

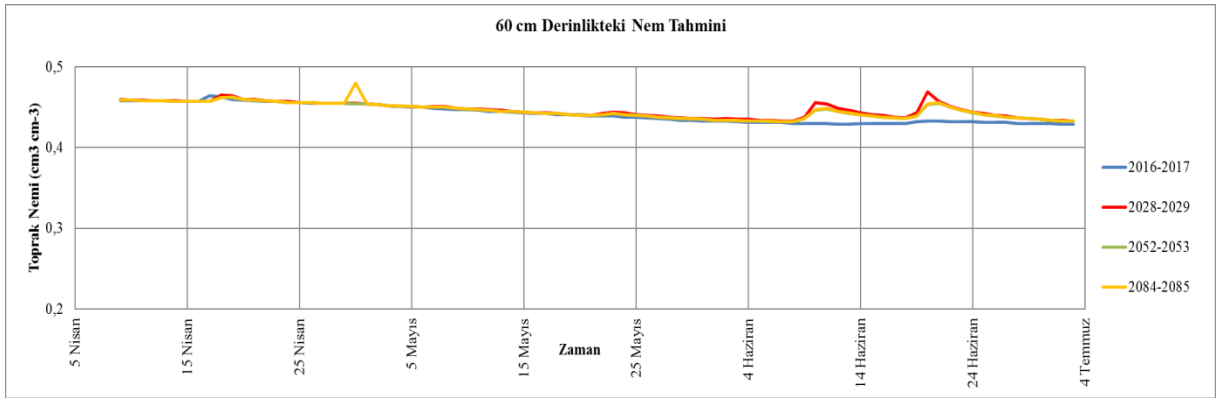
Kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için toprak neminin modellenmesi

Buğday bitkisi ekili alanda ölçülen toprak nemi değerleri ile modellenen toprak nemi değerleri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



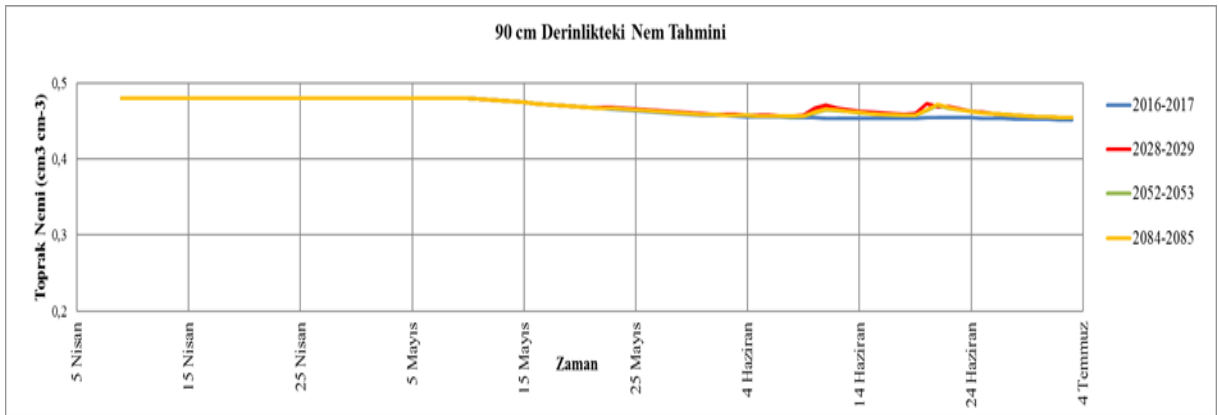
Şekil 8. 30 cm Derinlikte 2016-2017 dönemi ile kısa, orta ve uzun dönem toprak nem tahmin sonuçları

Figure 8. The Simulated short, medium and long term soil water contents against measured values during 2016-2017 growth period of wheat at the depth of 30 cm



Şekil 9. 60 cm Derinlikte 2016-2017 dönemi ile kısa, orta ve uzun dönem toprak nem tahmin sonuçları

Figure 9. The Simulated short, medium and long term soil water contents against measured values during 2016-2017 growth period of wheat at the depth of 60 cm



Şekil 10. 90 cm Derinlikte 2016-2017 dönemi ile kısa, orta ve uzun dönem toprak nem tahmin sonuçları

Figure 10. The Simulated short, medium and long term soil water contents against measured values during 2016-2017 growth period of wheat at the depth of 90 cm

Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10 karşılaştırıldığında, 30 cm toprak derinliğinde, 60 ve 90 cm toprak derinliğine oranla daha dinamik ve değişken bir yapı gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak 30 cm toprak derinliğinin yani üst yüzeyin yağış ve sıcaklığa karşı daha hassas olmasıdır. Daha dinamik bir yapıya sahip olan üst toprak katmanında toprak neminin tahmin edilmesi bu hassasiyeten dolayı daha zordur. Kalibrasyon aşamasındaki istatistiksel sonuçlar değerlendirildiğinde ME, r^2 , NRMSE değerleri sırası ile 30 cm'de 0,59-0,60-0,08, 60 cm derinlikte 0,16-0,19-0,08 ve 90 cm'de 0,73-0,80-0,02 olarak hesaplanmış ve en iyi uyumun bu katmanda olduğu belirlenmiştir. 60 cm'deki toprak nemi değerleri de beklenildiği gibi 30 cm ve 90 cm'deki nem değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Bu durum Elmaloglou ve Malamos (2000) ve Devenci (2015) tarafından da doğrulanmaktadır.

Ortalama toprak nemi değerleri zaman bazında 2016-2017 dönemi ile kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler aylık olarak karşılaştırıldığında önemli farklılıklar gözlenmemiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. 2016-2017 Dönemi ile kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönem ortalama toprak nem içerikleri

Table 5. 2016-2017 Short (2020-2030), medium (2046-2055) and long-term (2076-2085) period average soil water contents

Ortalama Toprak Nem İçerikleri (cm ³ cm ⁻³)						
Derinlik	Dönem	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	
30 cm	2016-2017	0,34	0,31	0,29	0,28	
	2020-2030	0,34	0,32	0,33	0,30	
	2046-2055	0,34	0,31	0,32	0,30	
	2076-2085	0,34	0,31	0,32	0,30	
60 cm	2016-2017	0,46	0,44	0,43	0,43	
	2020-2030	0,46	0,44	0,44	0,43	
	2046-2055	0,46	0,44	0,44	0,43	
	2076-2085	0,46	0,44	0,44	0,43	
90 cm	2016-2017	0,48	0,47	0,45	0,45	
	2020-2030	0,48	0,47	0,46	0,46	
	2046-2055	0,48	0,47	0,46	0,46	
	2076-2085	0,48	0,47	0,46	0,46	

Yıllık ortalama toprak nemi sonuçlarına bakıldığında ise gelecekte nem miktarlarında önemli bir değişimin olmayacağı tahmin edilmiştir (Çizelge 5). Bunun nedeni, RegCM3 Bölgesel İklim Modeli'nden elde edilen ve toprak neminin modellenmesinde kullanılan 0,27-3,05 °C aralığındaki ortalama sıcaklık artışlarının ve kısa dönemde %13 (87 mm) yağış artışı, orta ve uzun dönemlerde %12-%14 (78 mm-91 mm) aralığındaki yağış azalmasının toprak nemi değişimine önemli bir etki yapmayacak olmasıdır. Devenci (2015) de yaptığı çalışmada toprak neminin, araştırma bölgesine yakın yerleşim yerleri olan Akıncılar, Sofular ve Çövenli bölgelerinde iklim değişikliğinden etkilenmeyeceğini tespit etmiştir. Bu iki çalışmanın sonuçları birbirini doğrular niteliktedir. Dolayısı ile elde edilen sonuçları değerlendirdiğimizde; araştırma bölgesinde iklim değişikliğinin, toprak nemini, buğday bitkisinin gelişme periyodu boyunca bitkinin fizyolojik gelişmesine çok fazla etki edecek şekilde değiştirmeyeceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç

İklim değişikliğinin toprak profili nem değişimine etkisinin belirlendiği bu çalışmada toprak nemi tahmininin de SWAP Model'den faydalanılmıştır. Araştırma kapsamında, 2016-2017 döneminde buğday ekili arazide, kesintisiz ölçüm yapabilecek şekilde meteoroloji ölçüm istasyonu ve toprak nemi sensörleri vasıtasıyla ölçülen toprak nem değerleri, modellenen toprak nemi değerleri ile karşılaştırılarak SWAP Model'in kalibrasyonu yapılmış ve istatistiksel olarak oldukça uyumlu (günlük ortalama ME=0,82, $r^2=0,93$, NRMSE=0,06) sonuçlar elde edilmiştir. Kalibrasyon parametreleri ile birlikte RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemler için çalıştırılmış ve geleceğe yönelik toprak nemi değerleri hesaplanmıştır.

Araştırmada, iklim değişikliğinin toprak nemine etkisi zaman bazında toprak profillerine göre nem analizi, zaman bazında toprak nem eğilim analizi şeklinde incelenmiştir. Zaman bazında toprak profillerine göre nem analizinde, 30 cm toprak derinliğinde, 60 ve 90 cm toprak derinliğine oranla daha dinamik ve değişken bir yapı gözlenmektedir. Bunun nedeninin 30 cm toprak derinliğinin yani üst yüzeyin yağış ve sıcaklığa direk maruz kalması olduğu düşünülmektedir. Üst toprak dinamik bir yapıya sahip olduğundan dolayı bu katmanda toprak

neminin tahmin edilmesi oldukça zordur. İyi bir stabiliteye sahip olan toprak derinliğinin beklenildiği gibi 90 cm olduğu görülmüştür. Kalibrasyon aşamasındaki istatistiksel sonuçlar değerlendirildiğinde; ME, r^2 , NRMSE değerleri sırası ile 30 cm'de 0,59-0,60-0,08, 60 cm derinlikte 0,16-0,19-0,08 ve 90 cm'de 0,73-0,80-0,02 olarak hesaplanmış ve en iyi uyumun 90 cm'de olduğu görülmüştür. Ortalama toprak nemi değerleri zaman bazında değerlendirildiğinde; 2016-2017 dönemi ile kısa (2020-2030), orta (2046-2055) ve uzun (2076-2085) dönemlerin aylık olarak karşılaştırılmasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Zaman bazında toprak nemi eğilim analizinde yıllık ortalama toprak nemi sonuçlarına bakıldığında ise gelecekte nem miktarlarında önemli bir değişimin olmayacağı tahmin edilmiştir. Sonuç olarak zaman bakımından toprak nemi değerlendirildiğinde, toprak nemi değerleri bitki yetiştiriciliği için oldukça önemli olduğundan, iklim değişikliği ile birlikte toprak nemi değişimi sonuçları, özellikle buğday yetiştirme dönemi bakımından dikkate alındığında genel olarak toprak nemini etkileyecek düzeyde gözlenmemiştir.

Topraktaki nem koşulları ile birlikte, yağış, sıcaklık ve solar radyasyon değişimleri de verime etki eden önemli faktörlerin başında gelmektedir. İklim değişikliğinin tahmin edilmesinde kısa, orta ve uzun dönemlerde 0,27-3,05 °C aralığındaki ortalama sıcaklık artışlarının ve kısa dönemde %13 (87 mm) yağış artışı, orta ve uzun dönemlerde %12-%14 (78 mm-91 mm) aralığındaki yağış azalmasının gelecekte toprak neminde önemli bir değişimin olmayacağı tahmin edilmiştir. Buna rağmen bölgede buğday bitkisinde verim artışlarının olması ise gerekli olan yağışların, bitki su isteğinin olduğu zamanda yani bitki gelişme dönemlerinde olacağı şeklinde yorumlanmıştır. Bitki verim tahmini modelleme çalışmalarında vejetasyon dönemi kısıtlımı dikkate alınmadığı zamanlarda da verim artışlarının olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca Trakya Bölgesi için yapılan çalışmalarda, buğday bitkisinin yetiştirilmesi için gerekli nem koşullarının ve bitki besin elementlerinin sağlanabilmesi ile birlikte gelecekte solar radyasyon ve en düşük sıcaklıkların yani gece sıcaklıklarının artışının buğday verimine olumlu katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

İklim değişikliğinin etkileri, tüm dünyada olduğu gibi araştırma alanını da, meteorolojik faktörler ve ekstrem iklim olayları (taşkın, kuraklık vb.) açısından etkilemektedir ve bu durumun gelecekte daha da fazla bir şekilde hissedileceği tahmin edilmektedir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçların, özellikle tarımsal üretim konusunda söz sahibi olan kurumlara, sektörlerle ve karar vericilere, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, iklim değişikliğine karşı hassasiyeti azaltmak uyum sağlamak ve kapasite geliştirmek konularında bir karar destek sistemi sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından NKUBAP.42. DS.16.080 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar/References

- Andarzian B, Bannayan M, Steduto P, Mazraeh H, Barati ME, Barati MA, Rahnama A, 2011. Validation and testing of the aquacrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*. 100: 1-8.
- Anonim, 2012. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Tekirdağ İl Müdürlüğü Veri Bankası.
- Bregaglio S, Frasso N, Pagani V, Stella T, Francone C, Cappelli G, Acutis M, Balaghi R, Ouabbou H, Paleari L, Confalonieri R, 2015. New multi-model approach gives good estimations of wheat yield under semi-arid climate in Morocco. *Agron. Sustain. Dev.* 35:157-167.
- Çalıdağ B, 2000. Meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine etkilerinin bitki iklim modelleri ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Çalıdağ B, 2009. Trakya Bölgesi'nin tarımsal meteorolojik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Dalfes N, Karaca M, Şen ÖL, Kindap T, Önal B, Turunçoğlu UU, Bozkurt D, Fer İ, Akın HS, Çankur R, Ural D, Kılıç G, Coşkun M, Demir İ, 2008. Türkiye için iklim değişikliği senaryoları, TÜBİTAK. Proje No:105G015. <http://gaia.itu.edu.tr/>, (erişim tarihi: 19.11.2018).
- Demir İ, Kılıç G, Coşkun M, 2008. PRECIS bölgesel iklim modeli ile Türkiye için iklim öngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 25-28 Mart, 365-373, İstanbul.
- Deveci H, 2015. Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin yüzey su kaynakları, toprak nemi ve bitki verimine etkisinin modellenmesi. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 210 s, Tekirdağ.
- Elmaloglou S, Malamos N, 2000. Simulation of soil moisture content of a prairie field with SWAP93. *Agricultural Water Management*. 43: 139-149.
- Feddes RA, Kowalik PJ, Zaradny H, 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*. Pudoc. 189, Wageningen.
- İklimSu, 2016. İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi raporu. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Proje Nihai Raporu, Yönetici Özeti, 67 s. http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/iklim_nihai%20Rapor_YoneticiOzeti.pdf, (erişim tarihi: 27.01.2019).
- Júnior RPS, Silva JP, Rigitano RLO, 2010. Simulation of moisture profiles in a latossol in dourados region, in the state of mato grosso do sul, Brazil. *Eng. Agric.* 30(1): 22-32.
- Kale S, Tari AF, 2012. Sulu ve kuru koşullar altında kışık buğday için FAO-AQUACROP modelinin performansının değerlendirilmesi. *Toprak Su Dergisi*, 2: 119-131.
- Kapur B, Topaloğlu F, Özfidaner M, Koç M, 2007. Çukurova Bölgesi'nde küresel iklim değişikliği ve buğday verimliliği üzerine etkilerine genel bir yaklaşım. Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Sempozyumu, 18-20 Ekim, Konya.
- Kapur B, 2010. Artan CO₂ ve küresel iklim değişikliğinin Çukurova Bölgesi'nde buğday verimliliği üzerine etkileri. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Koç EM, 2011. İklim değişikliğinin tarıma olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeli ile araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Konukcu F, Deveci H, Altürk B, 2017. Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday verimine etkisinin matematiksel modellerle tahmin edilmesi. BAP projesi. Tekirdağ. NKUBAP.03.GA.16.063. <http://hdl.handle.net/20.500.11776/2959>, (erişim tarihi: 25.01.2019).
- Mishra SK, Shekh AM, Yadav SB, Kumar A, Patel GG, Pandey V, Patel HR, 2013. Simulation of growth and yield of four wheat cultivars using WOFOST model under middle Gujarat region. *Journal of Agrometeorology* 15 (1): 43-50.
- Mkhabela MS, Bullock PR, 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in western Canada. *Agricultural Water Management* 110: 16-24.
- Mualem YA, 1976. New model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*. 12: 513-522.
- Önal B, Ünal YS, Dalfes HN, 2009. *İklim değişikliği senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi*. İTÜ Dergisi, 8 (5): 169-177.
- Özkul S, Fıstıkoğlu O, Harmancıoğlu N, 2008. **İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin Büyük Menderes ve Gediz Havzaları örneğinde değerlendirilmesi**. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi. 309-322, Ankara.
- Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer, W, Christ R, ... Dubash NK, 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R. Pachauri and L. Meyer(editors). Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., ISBN: 978-92-9169-143-2
- Singh A, Saha S, Mondal S, 2013. Modelling irrigated wheat production using the FAO AquaCrop model in west Bengal, India, for sustainable agriculture. *Irrigation and Drainage*. 62: 50-56.
- Şen, Ö. L., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., Dündar, B., Altürk, B., 2013. Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. 3. Taşkın Sempozyumu. 29-30 Nisan 2013.
- Şimşek O, Mermer A, Yıldız H, Özyayın KA, Çakmak B, 2007. Türkiye'de buğdayın verim tahmini. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 13 (3): 299-307.
- Tripathy R, Chaudhari KN, Mukherjee J, Ray SS, Patel NK, Panigrahy S, Parihar J, 2013. Forecasting wheat yield in Punjab state of India by combining crop simulation model WOFOST and remotely sensed inputs. *Remote Sensing Letters*. Vol. 4(1): 19-28.
- Tsiros JX, Elmaloglou S, Ambrose RBA, 1998. Comparative study of two methods for modeling soil water regime in agricultural fields. *Water Resources Management*. 12: 285-293.
- Van Dam J, Huygen J, Wesseling JG, Feddes RA, Kabat P, Van Walsum PEV, ... Van Diepen CA, 1997. Theory of SWAP version 2.0.

simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Department Water Resources, Wageningen Agricultural, Technical Document, 45, p 167.

Van Genuchten MT, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44: 892- 898.